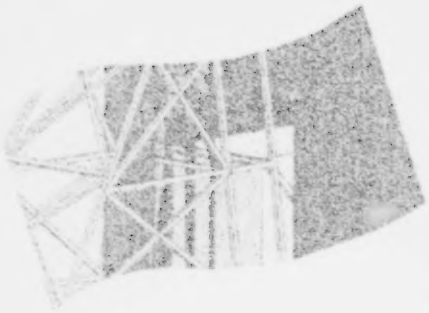
Sécurité des machines d'extraction commandées par systèmes programmables



ÉTUDES ET RECHERCHES

Joseph-Jean Paques
Louis Germain

RF-412

FICHE TECHNIQUE

irsst

105-06310/

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES *travaillent* pour vous !

MISSION

- Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.
- Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.
www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2005

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, mars 2005

Sécurité des machines d'extraction commandées par systèmes programmables

ÉTUDES ET RECHERCHES

Joseph-Jean Paques, Sécurité-ingénierie, IRSST
Louis Germain, Laboratoires des mines et des sciences minérales de CANMET

avec la collaboration de :

Marcel Ménard, Normand Dionne et Gilles Gagnon,
Commission de la santé et de la sécurité du travail

FICHE TECHNIQUE

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

Table des matières

1 Introduction 3
1.1 Définitions 3
1.2 Fiabilité des PES 4
1.3 Analyse de risques 4
1.4 Usage de la fiche technique 5
2 Structure générale des systèmes de commande et de supervision de machines d'extraction commandées par des systèmes programmables 6
2.1 Principes généraux de la structure du système de commande et de supervision 6
2.2 PES de commande 6
2.3 Circuit de sécurité 7
2.4 Freins d'urgence 7
2.5 Étages de puissance du moteur 7
2.6 PES de supervision 8
3 Éléments particuliers des systèmes de commande et de supervision actionnés par des systèmes programmables 8
3.1 Principes généraux à appliquer 8
3.1.1 Séparation des canaux 8
3.1.2 Protection contre les influences environnementales 9
3.1.3 Fonction de chien de garde externe 9
3.1.4 Séquences d'autovérifications cycliques 9
3.1.5 Protection contre les modifications 10
3.1.6 Essais fonctionnels 10
3.1.7 Fiabilité des composants 10
3.1.8 Mémoires 11
3.1.9 Réseaux de communication 11
3.1.10 Protection contre les anomalies pendant l'utilisation et l'entretien 11
3.1.11 Profil de supervision 11
3.1.12 Point de vérification 12
3.1.13 Calibration de l'indicateur de profondeur 12
3.2 Exigences optionnelles 12
3.2.1 Enregistrement d'événements 12
3.2.2 Surveillances particulières 12
3.2.3 Contournement de certaines fonctions de protection par l'opérateur du treuil 12
3.2.4 Analyse de risques 13
4 Essais et vérifications périodiques 14
4.1 Protection du moteur et du réseau électrique 14
4.2 Protection de la température 15
4.3 Protection des moyens de freinage 15
4.4 Protection de la limite de parcours du puits 16
4.5 Protection du câble 17
4.6 Protection du fonctionnement 17
4.7 Protection du réarmement ou du verrouillage du circuit de sécurité 19
4.8 Protection du fonçage d'un puits 19

5 Bibliographie 20
6 Annexe A : Schéma-bloc de machine d'extraction commandée par PES 21

1 INTRODUCTION

Avertissement : *Cette fiche technique remplace la fiche « Sécurité des treuils miniers commandés par systèmes programmables », RF-267, publiée en avril 2001 à titre expérimental ; son contenu est le résultat de l'expérimentation de la fiche précédente et de la consultation de ses utilisateurs.*

1.1 Définitions

Le guide sur les machines d'extraction [1], s'appuyant sur la réglementation relative à la sécurité dans les mines du Québec [2], « permet aux intéressés de prendre connaissance du fonctionnement des machines d'extraction. Il présente les divers mécanismes de sécurité et fournit les indications nécessaires pour s'assurer que les machines fonctionnent bien ». À l'époque où le guide [1] et la réglementation ont été préparés, les technologies de commande programmables n'étaient pas encore très répandues. Avec l'évolution rapide des nouvelles technologies et la recherche de rentabilité des investissements, les **systèmes de commande programmable (PES)** se sont implantés progressivement dans toutes les industries. Le secteur minier n'échappe pas à cette tendance et plusieurs mines du Québec ont équipé leurs machines d'extraction de tels systèmes. Toutefois, il est clair que l'introduction de ces nouvelles technologies, requises pour l'amélioration de la productivité minière au Québec, ne doit pas contribuer à augmenter le niveau de risques.

Rappelons que l'expression **systèmes de commande programmable**, dont le sigle français ou anglais est **PES** [3], regroupe **plusieurs technologies électroniques programmables (PE)** basées sur l'informatique, pouvant comprendre du matériel, des logiciels, ainsi que des unités d'entrées ou de sorties. Cette terminologie recouvre les appareils micro-électroniques fondés sur une ou plusieurs unités centrales de traitement (CPU) associées à des mémoires, etc. À titre d'exemples, tous les composants suivants sont des dispositifs électroniques programmables :

- les microprocesseurs ;
- les microcontrôleurs ;
- les circuits intégrés spécifiques à une application (ASIC) ;
- les automates programmables (PC) ou automates logiques programmables (PLC ou API) ;
- les autres appareils basés sur la technologie informatique (par exemple, capteurs intelligents, transmetteurs, actionneurs, variateurs de vitesse, cycloconvertisseurs, etc.).

Les **systèmes électroniques programmables** sont eux-mêmes définis [3] comme des **systèmes de commande, de protection ou de surveillance**, constitués d'un ou de plusieurs dispositifs **électroniques programmables**. Ce terme recouvre tous les éléments d'un système de ce type, dont l'alimentation, les capteurs ou autres dispositifs d'entrée, jusqu'aux actionneurs ou autres dispositifs de sortie, en passant par les autoroutes de données et autres voies de communication.

---

1 FORTIN, G., Demers, R. *Les machines d'extraction, Guide*, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, 1993.

2 *Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines*, S-2. 1, r. 19. 1, Gouvernement du Québec, 1998.

3 *Sécurité fonctionnelle : systèmes relatifs à la sécurité, Partie 4 : Définitions et abréviations*, Commission électrotechnique internationale, Comité technique n° 65 : Mesure et contrôle du procédé industriel, IEC 61508-4, 53 pages, 1998.

1.2 Fiabilité des PES

Du point de vue de la sécurité, et comme le mentionne la Note documentaire n° 117 de l'INRS [4], les automates programmables présentent trois caractéristiques principales, qui sont différentes de celles des automatismes à base de technologies électromécaniques utilisés antérieurement :

- « Les modes de défaillances de l'automate programmable ne sont pas bien connus et de plus, leur comportement sur défaut interne est imprévisible. »
- « L'influence des interférences électriques conduites ou rayonnées peut être extrêmement perturbante » (en particulier celles des systèmes de communication radio utilisés dans les mines).
- « La possibilité de modifications rapides des programmes » présente une souplesse qui peut devenir cause de risques supplémentaires.

La note documentaire n° 117 de l'INRS [4] recommande alors de suivre les règles suivantes :

« Dans l'état actuel des connaissances :

1) Les fonctions de sécurité directe ne doivent pas être prises en compte uniquement au niveau de l'automate programmable. Même si les informations de sécurité (arrêt d'urgence, protecteurs) peuvent être des informations d'entrée de l'automate, elles doivent nécessairement intervenir directement sur les actionneurs. En d'autres termes, la sécurité directe ne doit pas reposer essentiellement sur le bon fonctionnement escompté de l'automate.

2) Si l'on veut utiliser coûte que coûte des automates pour assurer la sécurité directe, il faudra nécessairement mettre en œuvre des solutions spécifiques (dynamisme, doublement des automates). On devra en outre s'assurer que le niveau de sécurité atteint est aussi élevé qu'en logique câblée à sécurité positive. En particulier, l'occurrence d'une défaillance ne doit pas entraîner une situation de risque. Dans le cas où le dédoublement des automates a été choisi, on doit veiller scrupuleusement à éliminer les modes communs de défaillances affectant les deux chaînes.

3) Les fonctions de sécurité indirecte (fonction d'autosurveillance, synchronisme, contrôles) peuvent être assurées indifféremment par des logiques câblées ou des logiques programmées utilisant l'une comme l'autre les règles de l'art en la matière. »

Cette restriction quant aux applications de sécurité des automatismes programmables apparaît aussi dans la note du paragraphe 11. 3. 4 de la norme IEC 61204-1[5] « Il est admis, actuellement, qu'il est difficile de déterminer avec un certain degré de certitude les cas où un accident significatif peut résulter du mauvais fonctionnement du système de commande, et de se fier au bon fonctionnement d'un **canal unique** sur un **équipement électronique programmable (PES)**. Tant que cette situation perdurera, il n'est pas judicieux de se fier uniquement au bon fonctionnement d'un tel dispositif à canal unique. »

1.3 Analyse de risques

La démarche, qui a conduit aux présentes recommandations sur les systèmes de commande et de supervision faisant appel à des technologies programmables, est identique à celle qui a été effectuée pour établir le règlement [2] ainsi que le guide [1] sur la sécurité des machines d'extraction minière.

---

4 VAUTRIN, J.-P., Dei Svaldi, D.,*Les automates programmables : Nouvelles technologies, nouveaux risques, principes de sécurité à appliquer*, Institut national de recherche en décurité, Cahiers de notes documentaires, ND 117, 1984.

5 *Équipement électrique des machines industrielles - Partie 1: Prescriptions générales*, Commission électrotechnique internationale, CEI/IEC 204-1, 1997.

Cette dernière était basée sur une analyse informelle des risques , élaborée avec l'expérience aussi bien des utilisateurs que des fabricants et des inspecteurs de la CSST, qui a conduit à prescrire un certain nombre de solutions reconnues. Pour préparer la présente fiche technique, cette démarche d'analyse non formalisée a été étendue aux systèmes de commande et de supervision de machines d'extraction utilisant des technologies programmables, en se référant aux expériences faites en milieu minier lorsqu'elles étaient disponibles et à celle d'autres applications des technologies de commande programmables dans différents types d'industries, souvent concrétisées sous forme de normes spécifiques.

Si le besoin d'une démarche plus globale et plus formalisée d'analyse des risques associés aux machines d'extraction minière est ressenti, il existe maintenant des normes générales à ce propos [6], ainsi que sur la sécurité des systèmes de commande [7] et sur celle des machines en général [8 et 9] auxquelles on peut se référer.

1.4 Usage de la fiche technique

La présente fiche technique est destinée aux utilisateurs et aux installateurs de machines d'extraction commandées par PES. Elle ne modifie en rien les exigences de base du règlement et du guide (1) en matière de sécurité. Elle donne des informations complémentaires sur les objectifs à atteindre en termes de sécurité des systèmes de machines d'extraction commandées par PES. Ce document est fourni à titre indicatif seulement et ne soustrait pas le concepteur, ou l'utilisateur, à l'obligation de se conformer à toutes exigences légales ou réglementaires reliées à leurs activités.

Les recommandations de la fiche technique portent principalement sur la structure générale des systèmes de commande et de supervision de machines d'extraction commandées par PES, sur ses éléments particuliers et sur les essais et vérifications périodiques.

L'application de la fiche technique devrait permettre d'assurer que le niveau de sécurité actuel des machines d'extraction reste intact lorsqu'elles sont commandées par PES.

Lorsque la configuration du contrôle d'une machine d'extraction est équipée d'un PES de commande combiné à un contrôleur de vitesse mécanique, comme les « Lilly », la fiche s'applique intégralement, sauf en cas d'impossibilité technique que cette configuration peut comporter.

---

6 *Sécurité des machines. Principes pour l'appréciation du risque*, Norme européenne EN 1050, novembre 1996, (ISO 14121).

7 *Sécurité fonctionnelle : systèmes relatifs à la sécurité, Parties 1 à 7*, Commission électrotechnique internationale, Comité technique n° 65: Mesure et contrôle du procédé industriel, IEC 61508-1/7, 1998.

8 *Sécurité des machines, Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 1: Terminologie de base, méthodologie*, Projet de norme internationale, ISO/CD 12100-1 : 2003.

9 *Sécurité des machines, Notions fondamentales, principes généraux de conception - Partie 2 : Principes et spécifications techniques*, Projet de norme internationale, ISO/CD 12100-2 : 2003.

2 STRUCTURE GÉNÉRALE DES SYSTÈMES DE COMMANDE ET DE SUPERVISION DE MACHINES D'EXTRACTION COMMANDÉES PAR DES SYSTÈMES PROGRAMMABLES

2.1 Principes généraux de la structure du système de commande et de supervision

Les recommandations du présent document ne modifient en rien la structure générale du système de commande et de supervision des machines d'extraction installées au Québec. Quelle que soit la technologie utilisée pour réaliser ces systèmes, le principe général consiste encore à conserver une séparation totale entre les fonctions de commande de base et les fonctions de supervision du bon fonctionnement de l'installation. Les tests périodiques prescrits viennent compléter ce principe en permettant à l'exploitant de s'assurer du maintien de la sécurité du fonctionnement, aussi bien du côté mécanique qu'électrique et électronique.

La structure générale des systèmes de commande et de supervision d'une machine d'extraction commandée par PES est montrée à la figure 1 de l'annexe. On y trouve les parties principales suivantes :

2.2 PES de commande

La partie commande agit sur les équipements de commutation de puissance, permettant ainsi de faire varier la vitesse du treuil. Dans à peu près tous les cas, les équipements de commande permettent de réguler la vitesse.

Lorsqu'un PES est utilisé, la vitesse maximale permise est limitée automatiquement en fonction de la distance restante entre le transporteur et les limites de parcours du puits, grâce à des encodeurs.

La commande du moteur agit sur le desserrage des freins de service en marche normale (circuit de sécurité « On »). L'ouverture du circuit de sécurité se produit par le PES de commande, à la suite du déclenchement d'un des défauts suivants (liste non exhaustive) :

- Protection du moteur et du réseau électrique ;
- Protection de températures diverses ;
- Protection des freins ;
- Protection de la limite de parcours du puits ;
- Protection du câble ;
- Protection du fonctionnement et de l'indicateur ;
- Protection du fonçage d'un puits.

Les dispositifs de sécurité des machines d'extraction commandées par PES peuvent entraîner quatre types d'action :

Type 1 : Arrêt de la machine sans délai par l'ouverture du circuit de sécurité (freinage d'urgence).

Type 2 : Arrêt automatique de la machine avec la force motrice (freinage dynamique) et, une fois l'interruption obtenue, ouverture du circuit de sécurité (le problème ayant provoqué le déclenchement doit être réglé avant qu'il soit possible de réarmer le treuil). Cet arrêt peut se produire n'importe où sur la trajectoire du transporteur.

Type 3 : Après un arrêt normal de la machine rendue à sa destination, ouverture du circuit de sécurité (le problème ayant provoqué le déclenchement doit être réglé avant qu'il soit possible de réarmer le treuil).

Type 4 : Alarme indiquant à l'opérateur le problème potentiel détecté, sans déclenchement d'arrêt.

2.3 Circuit de sécurité

Les éléments du circuit de sécurité devraient mettre en œuvre une technologie éprouvée, telle que des relais électromécaniques, des boutons poussoirs et du filage direct, de sorte que toute ouverture du circuit électrique (fil, défaut d'une bobine, etc.) entraîne l'arrêt de la machine.

L'ouverture du circuit de sécurité entraîne la suppression de l'alimentation du moteur de la machine d'extraction et provoque un freinage d'urgence.

Lorsque les signaux de déclenchement de protection proviennent de la partie commande ou supervision réalisée en PES, ils devraient être générés au moins à travers trois sorties, dont deux qui alimentent deux relais indépendants et la troisième, qui sert à activer la minuterie externe (voir 3. 1. 3). Ces trois relais font alors partie intégrante du circuit de sécurité et il ne sera pas possible de réarmer la machine d'extraction si leurs contacts actifs ne sont pas en position de repos (autovérification du mouvement des contacts).

Les signaux de sécurité suivants devront être directement reliés au circuit de sécurité avec des contacts robustes :

- L'interrupteur d'évite-molette et ses arrangements de contact de retour ;
- Le relais de surcharge de la boucle D.C., s'il n'est pas connecté au PES de commande ;
- Les interrupteurs d'arrêt d'urgence aux postes de commande manuelle ;
- Le défaut du superviseur (deux relais et une minuterie externe) (voir note 10) ;
- Le défaut de la commande (deux relais et une minuterie externe).

2.4 Freins d'urgence

Ce dispositif est activé électriquement par le circuit de sécurité. Advenant l'ouverture de celui-ci, les freins d'urgence sont alors appliqués. Ils le sont par leurs propres dispositifs, préablement à l'ouverture du circuit de sécurité. Les contacts de ce circuit, qui alimentent les bobines des électrovannes, doivent être de capacité suffisante pour fournir le courant requis par les freins d'urgence.

2.5 Étages de puissance du moteur

L'alimentation d'un moteur de treuil afin, notamment, de faire varier sa vitesse, peut s'effectuer de plusieurs façons différentes. On trouve de plus en plus couramment des semi-conducteurs de puissance, conjointement avec des microprocesseurs dédiés à cette application spécialisée.

Un mauvais fonctionnement des étages de puissance doit entraîner l'ouverture du circuit de sécurité

10 Dans le cas d'une machine d'extraction équipée d'un PES de commande combiné à un contrôleur de vitesse mécanique, comme les « Lilly », le branchement direct au circuit d'urgence « défaut du superviseur (deux relais et une minuterie) » sera remplacé par des interrupteurs d'excès de vitesse et par des interrupteurs de limite inférieure de parcours.

ainsi que celle d'un disjoncteur primaire ou/et d'un disjoncteur sur la boucle DC (*loop breaker*) sans délai. Dans tous les cas, l'énergie qui peut être transmise au moteur devrait s'y rendre seulement lorsque le circuit de sécurité est fermé.

L'ouverture du circuit de sécurité en raison d'un problème qui n'est pas relié à l'étage de puissance peut, pendant un délai de moins d'une seconde, garder de l'énergie dans le moteur afin d'éviter l'accélération du transporteur.

2.6 PES de supervision

Le système de supervision de vitesse, parfois appelé contrôleur de vitesse, peut être mécanique, électronique ou une combinaison des deux. À titre indicatif, plus de 60 % des machines d'extraction au Québec ont été équipées de **PES de supervision** depuis 1993.

Le rôle d'un PES de supervision est d'immobiliser la machine d'extraction selon un arrêt de type 1 (arrêt de la machine sans délai par l'ouverture du circuit de sécurité).

Les protections normalement effectuées par un PES de supervision sont principalement :

- l'excès de vitesse dans tout le puits ;
- les limites de parcours du puits ;
- l'antidéversement ;
- et diverses autres.

3 ÉLÉMENTS PARTICULIERS DES SYSTÈMES DE COMMANDE ET DE SUPERVISION ACTIONNÉS PAR DES SYSTÈMES PROGRAMMABLES

3.1 Principes généraux à appliquer

Note : Les principes généraux énoncés ci-après sont extraits soit de pratiques existantes et validées pour des PES utilisés avec des machines d'extraction, soit de recommandations obligatoires pour des PES conformes à la norme IEC 61508-2 [11] ou de recommandations générales sur les API et la sécurité [12].

Tout PES ou élément de PES qui commande ou supervise une machine d'extraction doit respecter les principes généraux suivants :

3.1.1 Séparation des canaux

Le premier principe à appliquer est de garder une séparation complète du système de commande principale et du système de supervision du treuil, incluant les dispositifs de mesure (capteurs et transmetteurs), jusqu'à l'entrée des actionneurs de puissance (freins et équipements de puissance),

---

11 *Sécurité fonctionnelle : systèmes relatifs à la sécurité, Partie 7 : Présentation de techniques et de mesures*. Commission électrotechnique internationale, Comité technique n° 65 : Mesure et contrôle du procédé industriel, IEC 61508-7, 65A/256/CDV, 3-4-98.

12 PAQUES, J.-J. *Règles sommaires de sécurité pour l'utilisation des automates programmables industriels (API)*. Étude/Bilan de connaissances B-028, Montréal, IRSST, (janvier 1991), 19 p.

excluant les actionneurs eux-mêmes. Un encodeur par tambour et un encodeur de vérification doivent être fournis et utilisés.

3.1.2 Protection contre les influences environnementales

3.1.2.1 Alimentation électrique

Le système de commande et/ou de supervision devra être protégé contre toute variation, chute de tension et surtension électrique. Par exemple, toute élévation ou chute de tension dans les circuits de commande ou de supervision devra être détectée suffisamment tôt pour que les états internes puissent être préservés dans une mémoire non volatile si nécessaire et que toutes les sorties puissent être ramenées à des positions sécuritaires ou qu'une unité d'alimentation de secours puisse être connectée [A. 8 de note 11].

3.1.2.2 Séparation entre les lignes d'alimentation et les lignes de données

Les câbles d'alimentation électrique de puissance devront être physiquement séparés de façon à réduire l'influence des impulsions de voltage de puissance sur les câbles de commande et d'information [A. 11. 1 de note 11].

3.1.2.3 Augmentation de l'immunité aux interférences

Des techniques particulières, telles que le blindage et le filtrage, devront être utilisées afin d'augmenter l'immunité aux interférences du système de commande et/ou de supervision causées par des perturbations électromagnétiques qui peuvent être induites ou conduites dans les câbles de puissance ou de signaux ou résulter de décharges électrostatiques [A. 11. 3 de note 11].

3.1.2.4 Protection contre l'environnement

Il conviendra de toujours s'assurer que les conditions d'installation du système de commande et/ou de supervision sont acceptables et qu'elles correspondent aux recommandations des fabricants, du point de vue, par exemple, de la température, des poussières, de l'humidité, de la corrosion ou des émissions de rayonnement électromagnétique [6.2.8 de note 12].

3.1.3 Fonction de chien de garde externe

Afin de s'assurer que le programme se déroule normalement, on doit insérer, dans le tronc du programme, une fonction qui actionne une sortie de chaque PES à un intervalle de moins de une seconde. Cette sortie à impulsions est raccordée à une minuterie, extérieure au PES, de façon à être maintenue active.

La disparition des impulsions produit l'ouverture du circuit de sécurité. De cette façon, on s'assure que le programme ne se trouve pas bloqué, soit à cause d'un changement causé par un parasite électromagnétique rayonné, soit à cause d'un bouclage de séquence non détecté lors des essais.

3.1.4 Séquences d'autovérifications cycliques

Les contacts de sortie des PES, qui font partie du circuit de sécurité, doivent faire l'objet d'une autovérification cyclique, notamment par l'utilisation des relais électromécaniques à contacts mécaniquement liés (*mechanically linked contacts*), tels que définis dans l'annexe L de la norme IEC 60947-5-1 (13), par exemple au début de chaque réarmement du circuit de sécurité.

---

13 *Appareillage à basse tension – Partie 5-1: Appareils et éléments de commutation pour circuits de commande – Appareils électromécaniques pour circuits de commande*, Commission électrotechnique internationale, CEI/IEC 60947-5-1:2003

3.1.5 Protection contre les modifications

3.1.5.1 Protection contre les modifications physiques

Les modifications ou manipulations dont les conséquences sont susceptibles d'avoir une influence sur la sécurité du système de commande et/ou de supervision devront être détectées automatiquement, par exemple par la validation d'un signal de capteur ou par une détection technique (usage d'un interrupteur à clé, tests systématiques au démarrage etc.). Si une modification a été détectée, une action d'urgence doit être effectuée [B. 4. 8 de note 11].

3.1.5.2 Paramétrage et programmation

Le PES de commande devra présenter les caractéristiques de programmation suivantes :

- Sa programmation de base ainsi que le paramétrage fixe du système ne seront pas accessibles à l'opérateur de la machine d'extraction ;
- Le paramétrage et l'étalonnage (calibration) seront réservés à des personnes clairement désignées et selon des procédures qui garantissent la sécurité des modifications apportées ;
- Tout changement de cette nature ou pour l'entretien sera faisable uniquement en mode protégé, par un code d'accès personnalisé ou avec une procédure de niveau de sécurité équivalent ;
- Après une intervention avec l'usage d'un code, le retour en mode d'accès protégé devra se faire automatiquement après un certain temps afin de ne pas garder la machine en mode non protégé en permanence ;
- Si des changements de programme ou de paramètres d'opérationdoivent être effectués à distance, des mesures de sécurité devront être mises en place pour s'assurer que ces modifications présentent un niveau de sécurité équivalent à celui que l'on obtient si elles étaient effectués avec la machine en vue .

3.1.6 Essais fonctionnels

Après l'installation, des essais fonctionnels complets du système de commande et/ou de supervision devront être effectués pour vérifier de quelle manière les spécifications sont respectées. Pour ce faire, des données qui caractérisent adéquatement le fonctionnement normal du système seront introduites. Les sorties seront alors observées et leurs réponses comparées avec celles qui sont indiquées dans les spécifications. Les déviations par rapport aux spécifications et les indications de spécifications incomplètes seront documentées [B. 5. 1 de note 11].

3.1.7 Fiabilité des composants

Étant donné que tout défaut d'un composant du système est susceptible d'entraîner l'arrêt de la machine d'extraction, à titre de prévention, la fiabilité des composants utilisés a donc un effet direct sur la disponibilité de celle-ci. Il est donc très important que les composants soient choisis avec soin et qu'ils présentent le maximum de fiabilité.

De plus, les systèmes de commande et/ou de supervision devront présenter une très bonne résistance aux conditions normales et anormales prévisibles pendant ce genre d'installation (retrait d'une carte, coupure partielle ou totale d'électricité, conditions environnementales, etc.). En particulier, l'interruption partielle ou totale de la source électrique ne devra pas entraîner de perte ni d'altération d'un programme, d'un paramètre ou de toute autre donnée requise pour l'utilisation ou l'entretien sécuritaire de la machine d'extraction et de son système de commande.

3.1.8 Mémoires

Les mémoires utilisées dans les PES de commande et/ou de supervision devront être permanentes ou, à tout le moins, présenter une rétention d'information suffisante, après une interruption du courant électrique, pour arrêter les mouvements et amener la machine d'extraction à un état stable et sécuritaire pour les travailleurs.

3.1.9 Réseaux de communication

Le PES de supervision ne doit être relié à aucun autre réseau de communication que celui qui est requis pour son propre fonctionnement.

En particulier, tout changement de programme ou de paramètre d'utilisation devra se faire de préférence à proximité de la machine ou, à la rigueur, en passant par le réseau qui lui est réservé.

3.1.10 Protection contre les anomalies pendant l'utilisation et l'entretien

Pour réduire les risques associés à l'utilisation ou à la maintenance du système de commande et/ou de supervision, des instructions contenant les informations essentielles sur la façon de l'utiliser ou de l'entretenir devront être fournies. Dans certains cas, ces instructions porteront aussi sur la façon d'installer le système. Toutes les instructions devront être facilement compréhensibles. Des schémas et figures devront être utilisés pour décrire des procédures ou des systèmes complexes.

Pour réduire la complexité de l'utilisation, le concepteur d'un système de commande et/ou de supervision devra s'assurer que [14] :

- Le besoin en intervention humaine soit réduit au strict minimum ;
- Les interventions requises soient aussi simples que possible ;
- Le potentiel de dégâts attribuables à une erreur de l'opérateur soit réduit au minimum ;
- Les dispositifs de commande et de signalisation soient conçus selon des principes ergonomiques ;
- Les interfaces avec l'opérateur soient simples, bien indiquées et utilisables intuitivement ;
- L'opérateur ne soit pas débordé, même pendant des situations extrêmes ;
- La formation sur les procédures d'intervention soit faite en fonction du degré de connaissances des utilisateurs.

De la même façon, afin de faciliter l'entretien et les réparations, souvent effectués dans des circonstances difficiles et sous la pression due aux échéances, le concepteur d'un système de commande et/ou de supervision devra s'assurer que :

- Les procédures d'entretien des systèmes de commande ou de supervision soient aussi réduites que possible, s'il n'est pas faisable de les éviter totalement ;
- Des outils de diagnostic suffisants, significatifs et faciles à manipuler soient inclus, compte tenu des réparations inévitables ;
- Si des outils de diagnostic doivent être créés ou obtenus, ils devraient être fournis à temps.

3.1.11 Profil de supervision

L'introduction du profil de supervision devra se faire manuellement, en tenant compte de la décélération en situation d'urgence dans les conditions les plus défavorables (une pleine charge descendant à grande vitesse et avec des moyens de freinage défectueux).

---

14 *Contrôleurs programmables - Partie 4 : Directives pour l'utilisateur*, Comité électrotechnique international, CEI 1131-4, 1995.

3.1.12 Point de vérification

Un point de vérification par tambour doit être établit entre les deux PES, à l'intérieur de la zone de décélération supérieure, pour confirmer, à chaque voyage, la vitesse et la position du transporteur à ce point. Le bon fonctionnement du point de vérification doit être vérifié à chaque cycle. Dans le cas d'une machine d'extraction à poulie d'adhérence, ce point de vérification devra être installé physiquement dans le puits.

3.1.13 Calibration de l'indicateur de profondeur

Les encodeurs installés sur le treuil et reliés aux PES (de commande et/ou de supervision) permettent d'obtenir la position et la vitesse du transporteur dans le puits. Le nombre d'impulsions par révolution de tambour doit être suffisant pour obtenir une précision d'au moins 1,9 cm (0,75 pouces) dans le puits sur la première couche du câble. L'accumulation des impulsions par rapport à un point de référence connu permet au PES de calculer la position du transporteur. La calibration en fonction de cette référence doit se faire manuellement et être refaite lorsque l'écart entre la position calculée et la position réelle est supérieur à l'étirement du câble au niveau de chargement (écart entre le transporteur chargé de minerai et vide).

- Pour les treuils à friction, les impulsions représentent toujours la même distance dans le puits. La calibration peut se faire à partir d'un seul point fixe dans le puits, autre que le point de vérification défini au 3.1.12.
- Pour les treuils à tambour, les impulsions représentent une valeur différente selon le nombre de couches de câble enroulées sur le tambour. La calibration devrait alors se faire manuellement à une position connue (normalement, le point de déversement) et à une seconde position sur une autre couche du câble (normalement, le point de changement de sa première à sa deuxième couche).

3.2 Exigences optionnelles

Afin d'améliorer la fiabilité et la maintenance d'un PES qui commande et/ou supervise une machine d'extraction, les mesures suivantes sont fortement recommandées :

3.2.1 Enregistrement d'événements

Parmi les moyens de contrôle des opérations normales et anormales, la tenue à jour de fichiers informatiques sur les manœuvres et les incidents sur ordinateur permet de garder une trace de toute activité et de diagnostiquer ultérieurement les sources de problèmes pouvant nuire à la fiabilité ou à la sécurité du PES qui commande et/ou supervise une machine d'extraction. Il est alors possible d'effectuer facilement les impressions et l'archivage des données d'opération ou d'incidents et de les mettre à profit au besoin. Par exemple, une analyse systématique mensuelle des incidents pourrait contribuer à prévenir des événements majeurs.

3.2.2 Surveillances particulières

Les PES peuvent faire l'objet d'une surveillance particulière, proposée par les fabricants ; citons, à titre d'exemple, les moyens suivants : surveillance de défauts des mémoires, chien de garde interne, chien de garde programmé, etc.

3.2.3 Contournement de certaines fonctions de protection par l'opérateur du treuil

Il peut survenir des situations où il sera nécessaire de contourner une protection afin que le treuil puisse être ramené à sa position normale. Ces situations peuvent être les suivantes :

- essai de l'évite-molette ;
- porte faisant obstruction dans le puits ;
- protection de la position des barrures du *skip* ;
- limite inférieure de parcours lorsqu'un butoir permanent est utilisé ;
- autres protections.

Dans toutes ces situations, le contournement devra être fait dans un cadre défini à l'avance. Le contexte dans lequel la protection doit être désactivée doit apporter des restrictions à l'utilisation normale ou entraîner l'application de dispositifs de sécurité auxiliaires.

3.2.4 Analyse de risques

En cas de doute sur les mesures de prévention à prendre et si la présente fiche technique ne répond pas à toutes les questions, il est fortement recommandé de procéder à une analyse de risques complète de la machine d'extraction, incluant le ou les PES de commande et de supervision, selon les dernières normes en vigueur [notes 7, 7, 8 et 9].

4 ESSAIS ET VÉRIFICATIONS PÉRIODIQUES

La liste des protections indiquées est aussi exhaustive que possible. Toutes ces protections ne s'appliquent pas nécessairement à chacune des machines d'extraction, par exemple à cause d'impossibilités techniques. Cependant, toutes les protections existantes sur une de ces machines doivent être soumises à des essais et vérifications selon les fréquences indiquées. Ces essais et vérifications doivent être consignés dans un registre de façon synthétique, afin d'en faciliter le suivi. Ce registre doit être facilement accessible aux intervenants sur le site, dont les inspecteurs.

Les protections spécifiées dans le règlement demeurent obligatoires. Une procédure écrite d'essai de chacune d'elles n'est pas obligatoire mais fortement suggérée. Elle devrait être disponible aux employés de la maintenance afin qu'ils puissent l'utiliser pour faire des vérifications planifiées. Les vérifications annuelles ou biennales peuvent être effectuées par une firme spécialisée. L'exploitant doit être en mesure de démontrer que toutes les protections de la machine concernée sont vérifiées périodiquement.

Rappel : *Les dispositifs de sécurité des machines d'extraction commandées par PES peuvent entraîner quatre types d'actions, indiquées dans la troisième ou la quatrième colonne des tableaux suivants (*15 *):*

Type 1 : Arrêt de la machine sans délai par l'ouverture du circuit de sécurité (freinage d'urgence).

Type 2 : Arrêt automatique de la machine avec la force motrice (freinage dynamique) et, une fois l'interruption obtenue, ouverture du circuit de sécurité (le problème ayant provoqué le déclenchement doit être réglé avant qu'il soit possible de réarmer le treuil). Cet arrêt peut se produire n'importe où sur la trajectoire du transporteur.

Type 3 : Après un arrêt normal de la machine rendue à sa destination, ouverture du circuit de sécurité (le problème ayant provoqué le déclenchement doit être réglé avant qu'il soit possible de réarmer le treuil).

Type 4: Alarme indiquant à l'opérateur le problème potentiel détecté, sans déclenchement d'arrêt.

4.1 Protection du moteur et du réseau électrique

Type de protection	Article [S-2.1, r. 19.1]	Fréquence d'inspection proposée	PES de commande	PES de supervision
Perte d'une phase de l'alimentation principale		Une fois aux 2 ans	Action type 1	
Surcharges instantanées du moteur (court-circuit)	Art. 232 (7), 233 (7)	Une fois aux 2 ans	Action type 1	
Surcharges différées du moteur	Art. 232 (7), 233 (6)	Une fois aux 2 ans	Action type 1	
Baisse de voltage du réseau	Art. 232 (7),	Une fois aux	Action type 1	

15 Le type d'arrêt pour les protections qui ne sont pas mentionnées dans la réglementation peut varier selon le mode d'exploitation.

Type de protection	Article [S-2.1, r. 19.1]	Fréquence d'inspection proposée	PES de commande	PES de supervision
électrique	233 (5)	2 ans		
Perte subite du champ (moteur *shunt* à courant continu)		Une fois aux 2 ans	Action type 1	
Détecteur de continuité de mise à la terre des différentes alimentations du treuil		Une fois aux 2 ans	Action type 3	
Perte de couple du moteur du treuil		Une fois aux 2 ans	Action type 1	
Ouverture en surcharge instantanée et anormale de la boucle de courant continu		Une fois aux 2 ans	Type 1 (directement sur le circuit de sécurité)	
Faute provenant de l'alimentation du système UPS (*uninterruptible power system*)		Une fois par mois	Action type 3	

4.2 Protection de la température

Type de protection	Article [S-2.1, r. 19.1]	Fréquence d'inspection proposée	PES de commande	PES de supervision
Température des grilles de résistance d'un moteur à courant alternatif		Une fois aux 2 ans	Action type 4	
Débit d'air de refroidissement du ou des moteurs du treuil		Une fois aux 2 ans	Action type 4	
Température des enroulements du ou des moteurs		Une fois aux 2 ans	Action type 4	
Température du ou des disques de frein du tambour		Une fois aux 2 ans	Action type 4	
Température de l'huile du circuit hydraulique des freins		Une fois par année	Action type 4	

4.3 Protection des moyens de freinage

Type de protection	Article [S-2.1, r. 19.1]	Fréquence d'inspection proposée	PES de commande	PES de supervision
Usure normale des garnitures des freins à tambour	Art. 232 (8), 233 (8)	Une fois par semaine	Action type 3	
Pression disponible pour le dégagement des freins		Une fois par année	Action type 2	
Dispositif du frein non appliqué (protection sur les étriers)		Une fois par année (voir note 16)	Action type 1	
Dispositif du frein non desserré		Une fois par année (voir note 16)	Action type 1	
Frein appliqué avant de débrayer un tambour	Art. 251	Une fois par semaine	Action type 1 dans certains cas	
Verrouillage de l'application du frein du tambour après débrayage (mécanique et électrique)	Art. 251	Une fois par semaine	Action type 1	
Dispositif de détection de discordance entre le mode de freinage voulu (lent ou rapide) et celui qui est appliqué		Une fois par année	Action type 3 dans certains cas	
Usure des garnitures de freins à disque		Un interrupteur par semaine	Action type 3	

4.4 Protection de la limite de parcours du puits

Type de protection	Article [S-2.1, r. 19.1]	Fréquence d'inspection proposée	PES de commande	PES de supervision
Évite-molette	Art. 232 (2), 233 (2)	Une fois par semaine	Type 1 (directement sur le circuit de sécurité)	
Limite supérieure de parcours	Art. 232 (3), 233 (2)	Une fois par semaine		X

16 Vérification de la fonction logique seulement.

Type de protection	Article [S-2.1, r. 19.1]	Fréquence d'inspection proposée	PES de commande	PES de supervision
Limite inférieure de parcours	Art. 232 (3), 233 (2)	Une fois par semaine		X
Protection hommes (antidéversement)	Art. 235	Une fois par semaine		X
Portes de sécurité (surface) ou autres obstacles dans le puits	Art. 388	Une fois par semaine	Action type 2	
Dispositif de vérification de la décélération du treuil aux limites de parcours du puits (-25 % du début de la zone de décélération)	Art. 237 (3	Une fois aux 2 ans (voir note 17)		X
Synchronisation d'une machine à poulie d'adhérence.	Art. 236	Une fois par semaine	Action type 1	

4.5 Protection du câble

Type de protection	Article [S-2.1, r. 19.1]	Fréquence d'inspection proposée	PES de commande	PES de supervision
Mou du câble		Une fois par semaine	Action type 1 en mode automatique	
Dispositif du transporteur pour vérifier l'application des parachutes		Une fois par semaine	Action type 1 en mode automatique	
Appareil de mesure en continu de la section du câble		Selon le fabricant	Action type 2 en mode automatique	
Glissement du câble sur la poulie d'adhérence	Art. 237 (1)	Une fois par semaine	Action type 1	
Boucle d'équilibre	Art. 237 (2)	Une fois par semaine	Action type 1	

17 La fréquence des essais peut ne pas être requise lorsque le PES fait une routine d'autovérification de la protection en question, par exemple lorsque les encodeurs s'autovérifient continuellement.

4.6 Protection du fonctionnement

Type de protection	Article [S-2.1, r. 19.1]	Fréquence d'inspection proposée	PES de commande	PES de supervision
Excès de vitesse hors des zones de décélération (hommes)	Art. 235, 232 (4), 241 (1) a	Une fois par mois (note 18)		X
Excès de vitesse hors des zones de décélération (minerais)	Art. 232, 241 (1) a	Une fois par mois (note 18)		X
Excès de vitesse aux limites de parcours du puits	Art. 241 (1) b	Une fois par semaine		X
Écart trop grand de la position et de la vitesse du treuil entre les PES de commande et de supervision		Une fois aux 2 ans (note 16)	Action type 2	
Mauvaise direction du transporteur par rapport à la commande donnée		Une fois aux 2 ans	Action type 1 ou 2	
Mauvaise direction de la charge de matériaux (en descente)		Une fois aux 2 ans	Action type 1 ou 2	
Interrupteur d'arrêt d'urgence du poste de commande de l'opérateur (console)	Art. 232 (1)	Une fois par semaine	Type 1 (directement sur le circuit de sécurité)	
Interrupteur d'arrêt d'urgence installé sous terre (niveau de chargement ou autre)		Une fois par mois	Action type 1	
Protection applicable au *skip* muni d'une trémie basculante	Art. 330	Une fois par semaine	Action type 1 ou 2	
Surveillance du fonctionnement interne des PES		Une fois aux 2 ans (note 16)	Action type 1	X
Clef entraînant l'arrêt du treuil pour un changement de programme d'un PES		Une fois aux 2 ans (note 16)	Action type 1	X

18 Inscription au registre de la marge à l'excès de vitesse.

4.7 Protection du réarmement ou du verrouillage du circuit de sécurité

Type de protection	Article [S-2.1, r. 19.1]	Fréquence d'inspection proposée	PES de commande	PES de supervision
Manette de commande (*joystick*) en position neutre pour réarmer le treuil		Une fois par semaine	Empêche le réarmement après un arrêt d'urgence	
Frein complètement appliqué pour réarmer le treuil	Art. 249	Une fois par semaine	Empêche le réarmement après un arrêt d'urgence	
Surveillance du fonctionnement des relais associés au circuit d'urgence		Une fois aux 2 ans (note 16)	Action type 3	

4.8 Protection du fonçage d'un puits

Type de protection	Article [S-2.1, r. 19.1]	Fréquence d'inspection proposée	PES de commande	PES de supervision
Curseur qui suit le cuffat	Art. 320	Une fois par semaine	Action type 1	X
Vérification de la position des fourchettes du curseur	Art. 320	Une fois par semaine	Action type 1	X
Excès de vitesse dans le puits, hors des limites supérieures et inférieures	Art. 242, 232 (4)	Une fois par semaine		X
Limite inférieure de parcours (2 tours de tambour max.)	Art. 230, 233 (2)	Une fois par semaine		X
Vitesse sous les taquets inférieurs	Art. 234	Une fois par semaine		X

5 BIBLIOGRAPHIE

Programmable Electronic in Mining: A Safety Primer, 1999 NIOS-MSHA Workshop: Programmable Electronic Mining Systems: An Introduction to Safety, août 1999.

Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines, S-2. 1, r. 19. 1, Gouvernement du Québec, 1998.

FORTIN, G., Demers, R. *Les machines d'extraction*, Guide, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, 1993.

GERMAIN, L. *Contrôleur de vitesse sur les machines d'extraction*, Note de service, Service des machines d'extraction du LMSM, Canmet, 22 avril 1998.

CSA Technical Committee on Guarding of Industrial Machinery. Canadian Standards Association, Z432-94, 1994.

Équipement électrique des machines industrielles - Partie 1 : Prescriptions générales, Commission électrotechnique internationale, CEI/IEC 204-1, 44/205/FDIS, 1997.

VAUTRIN, J.-P., Dei Svaldi, D. *Les automates programmables : Nouvelles technologies, nouveaux risques, principes de sécurité à appliquer*, Institut national de recherche en sécurité, Cahiers de notes documentaires, ND 117, 1984.

Contrôleurs programmables - Partie 4 : Directives pour l'utilisateur, Comité électrotechnique international, CEI 1131-4, 1995.

Safety of Machinery – Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems, Commission électrotechnique internationale. IEC 62061 (version la plus à jour).

Safety of Machinery — Principles of risk assessment, Révision de la norme internationale ISO 14121:1999 (version la plus à jour).

PAQUES, J.-J. *Règles sommaires de sécurité pour l'utilisation des automates programmables industriels (API)*, Étude/Bilan de connaissances B-028, Montréal, IRSST, (janvier 1991),19 p. .

6 ANNEXE A : SCHÉMA-BLOC DE MACHINE D'EXTRACTION COMMANDÉE PAR PES

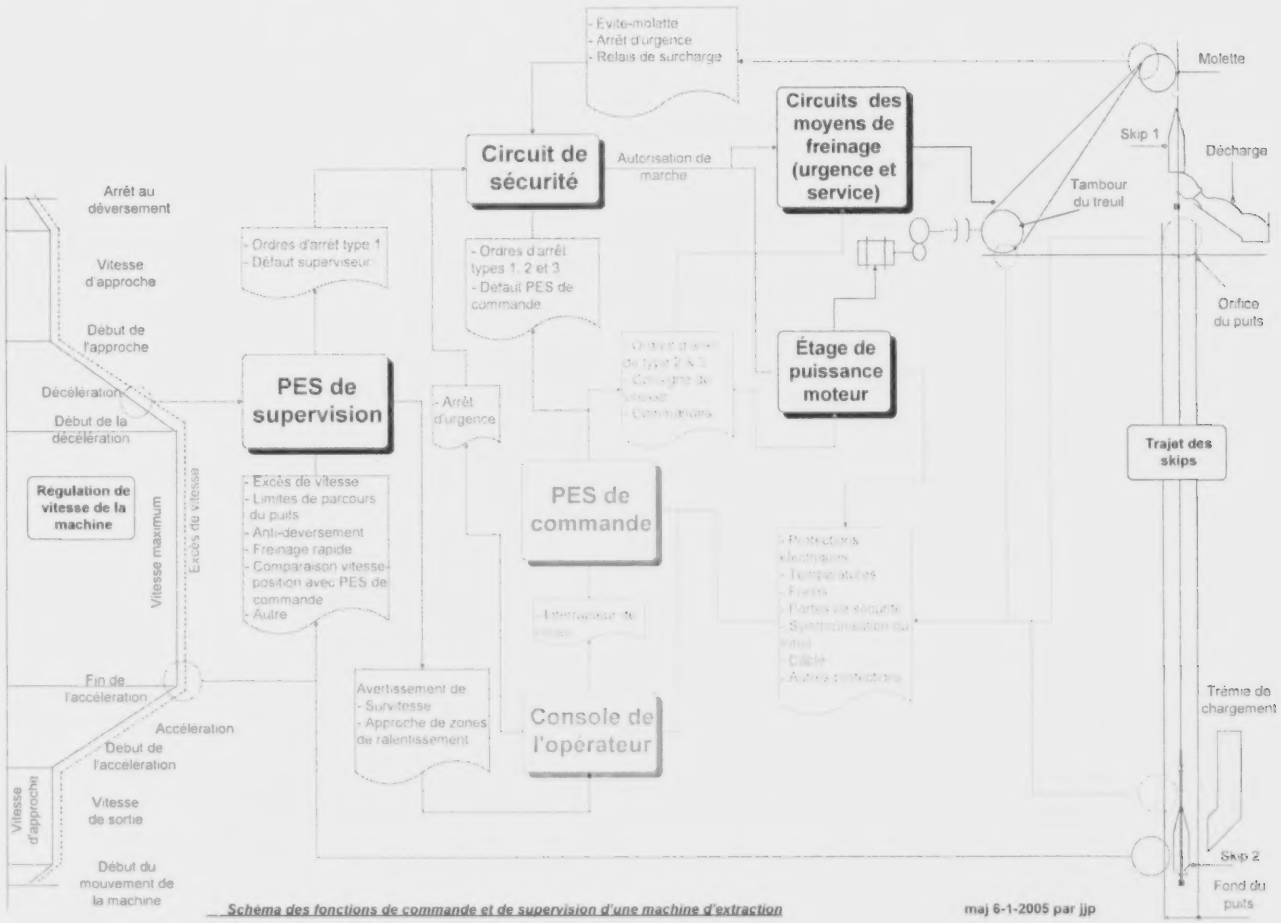


Schéma des fonctions de commande et de supervision d'une machine d'extraction

maj 6-1-2005 par jjp